



І. Р. Барна

# ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИЙ ТА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИЙ МЕТОД СУШІННЯ СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ ВИРОБНИЦТВА ШЛАКОВОГО ГРАВІЮ

У статті наведено результати, отримані під час фільтраційного сушіння сировинних матеріалів виробництва шлакового гравію. Запропоновано узагальнення у безрозмірній формі отриманих результатів. Показано переваги даного методу сушіння.

**Ключові слова:** сировинні матеріали виробництва шлакового гравію, фільтраційне сушіння, гідродинаміка, кінетика, тепло- й масообмін

## 1. Вступ

Процес сушіння — це складний теплофізичний технологічний процес, де воедино зв'язані процеси перенесення тепла і маси. Сушіння є важливою стадією виробництва багатьох продуктів хімічної, нафтопереробної, харчової та інших галузей промисловості. Його застосовують як на етапі підготовки сировини, так і на завершальному етапі виробництва для покращення якості матеріалу, зміни фізичних властивостей, збільшення терміну зберігання, подальшої переробки сировини з меншою вологістю матеріалу. Сировину для виробництва шлакового гравію (шлак та глину) висушують для подальшого гранулювання, а сирцеві гранули для покращення характеристик під час випікання у печі.

Розвиток техніки сушіння висуває нові підвищені вимоги до технологічних, екологічних та економічних характеристик апаратурного оформлення сучасних виробництв. На сучасному етапі розвитку промисловості актуальним питанням, яке потребує вирішення, є пошук енергоефективних способів сушіння.

## 2. Постановка проблеми

Аналіз технологічного процесу виробництва шлакового гравію показав, що одним із найбільш затратних етапів виробництва є сушіння сировинних матеріалів і сирцевих гранул. В промисловості для висушування шлаку, глини та сирцевих гранул використовують: конвективний метод, сушіння в киплячому шарі, сушильні барабани. Внаслідок недосконалості технологічного обладнання та низької ефективності використання теплової енергії на процес сушіння використовують в декілька разів більше теплової енергії, ніж потрібно на перетворення вологи в пару.

## 3. Осьовна частина

**3.1. Аналіз літературних джерел по темі дослідження.** Професором Атаманюком В. М. [1] розроблено наукові основи гідродинаміки, кінетики та динаміки тепломасообмінних процесів фільтраційного сушіння капілярно-пористих дисперсних матеріалів.

Зокрема в роботах [2], автором досліджена гідродинаміка фільтрування теплового агенту через шар сухого дисперсного матеріалу і визначені невідомі коефіцієнти  $A^*$  і  $B^*$  рівняння Дарсі — Вейсбаха для ряду дисперсних матеріалів, які відрізняються між собою за розміром зерен, формою і внутрішньою будовою. В роботі [3, 4] запропоновано узагальнення експериментальних даних з гідродинаміки фільтрації теплового агенту через шар сухого дисперсного матеріалу у вигляді критеріального рівняння виду  $Eu = A \cdot Re^{-x} \cdot (H_e/d_e)^y \cdot (d_q/D_{ap})^k$  та визначені невідомі коефіцієнти цього рівняння.

Автором у роботах [5, 6], отримано розрахункові залежності, що дають змогу визначити з необхідною для проектних розрахунків точністю коефіцієнти тепловіддачі і масовіддачі під час фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів у першому періоді і дають можливість прогнозувати необхідні затрати теплової енергії. А також, встановлено аналогію між теплообміном і масообміном під час першого періоду фільтраційного сушіння, що дає змогу визначити коефіцієнт масовіддачі, коли відомий коефіцієнт тепловіддачі.

В роботах [7, 8] досліджено кінетику під час фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів та доказано, що інтенсивність видалення вологи не залежить від висоти шару вологого матеріалу, а залежить від швидкості фільтрування теплового агента, його початкової вологості і температури.

**3.2. Результати досліджень.** Нами пропонується фільтраційний метод сушіння сировинних матеріалів виробництва шлакового гравію. Адже, даний

метод належить до високоінтенсивних методів, фізична суть якого полягає у профільтровуванні теплового агенту крізь пористу структуру шару дисперсного матеріалу, який лежить на перфорованій перегородці в напрямку «шар дисперсного матеріалу — перфорована перегородка».

На першому етапі нами досліджено гідродинаміку фільтраційного сушіння. Отримано критеріальні рівняння, що дають змогу визначити енергетичні затрати на створення перепаду тисків під час фільтраційного сушіння сировинних матеріалів виробництва шлакового гравію, на етапі проектування сушильного обладнання без проведення додаткових експериментальних досліджень у визначених межах критерію Рейнольдса, з достатньою точністю для проектних розрахунків [4].

Наступний етап — дослідження тепло- й масообміну під час фільтраційного сушіння сировинних матеріалів. Нами отримано розрахункові залежності, що дають змогу визначити коефіцієнти тепловіддачі і масовіддачі під час фільтраційного сушіння в стаціонарному шарі досліджуваних матеріалів у першому періоді, а також прогнозувати затрати теплової енергії, розрахувати оптимальні параметри процесу та експлуатаційні затрати на сушіння [9].

Також нами досліджено кінетику фільтраційного сушіння сировинних матеріалів виробництва шлакового гравію. Обґрунтовано існування трьох етапів фільтраційного сушіння досліджуваних матеріалів, а саме: 1) механічне витіснення, 2) період повного насичення теплового агента, 3) період часткового насичення теплового агента. Проаналізовано залежність фільтраційного сушіння від технологічних параметрів теплового агенту (сушильного потенціалу) і висоти шару матеріалу [8].

Аналізуючи вище отримані результати, стає зрозуміло, що фільтраційний метод сушіння є високоінтенсивним методом, а отже є перспективним для використання в промислових умовах.

#### Література

- Атаманюк В. М. Гідродинаміка і тепломасообмін під час фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів: [Текст] : Автореф. дис...докт. техн. наук: 05.17.08. / В. М. Атаманюк; [НУ Львівська політехніка]. — Львів, 2007. — 38 с.
- Кіндзера Д. П. Гідродинаміка фільтраційного сушіння торфу [Текст] / Д. П. Кіндзера, Я. М. Ханік, В. М. Атаманюк // Вісник НУ «Львівська політехніка». Хімія, технологія речовин та їх застосування. — 2001. — № 426. — С. 204–208.
- Мосюк М. І. Гідродинаміка стаціонарного шару подрібненої «енергетичної» верби під час фільтраційного сушіння [Текст] / М. І. Мосюк, В. М. Атаманюк, Д. П. Кіндзера // Наукові праці ОНАХТ. — 2008. — № 40(1). — С. 197–202.
- Атаманюк В. М. Гідродинаміка під час фільтраційного сушіння сировинних матеріалів виробництва шлакового гравію [Текст] / І. Р. Барна, В. М. Атаманюк // Вісник НУ «Львівська політехніка». Хімія, технологія речовин та їх застосування. — Львів. — 2012. — С. 201–212.
- Симак Д. М. Тепломасообмін під час фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів, що протікає у першому періоді [Текст] / Д. М. Симак, В. М. Атаманюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2011. — Т. 1, № 9(49). — С. 23–26.
- Атаманюк В. М. Зовнішній тепло- і масообмін під час фільтраційного сушіння подрібненої енергетичної верби [Текст] / В. М. Атаманюк, Я. М. Гумницький, М. І. Мосюк // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Хімія, технологія речовин та їх застосування. — 2011. — № 700. — С. 290–296.
- Атаманюк В. М. Дисперсні матеріали. Механізм і кінетика фільтраційного сушіння [Текст] / В. М. Атаманюк // Хімічна промисловість України. — К. — 2007. — № 4. — С. 24–29.
- Атаманюк В. М. Кінетика фільтраційного сушіння шлаку теплових електростанцій [Текст] / В. М. Атаманюк, І. Р. Барна // Збірник наукових праць ОНАХТ. — Одеса. — 2012. — Т. 2, Вип. 41. — С. 89–93.
- Барна І. Р. Тепломасообмін під час фільтраційного сушіння сирцевих гранул шлакового гравію [Текст] : зб. наук. пр. / І. Р. Барна, В. М. Атаманюк, І. Я. Матківська // Вісник НТУ «ХПІ». Тематичний випуск: Хімія, хімічна технологія та екологія. — Харків. — № 17. — 2012. — С. 146–152.

#### ЕНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЙ МЕТОД СУШКИ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРОИЗВОДСТВА ШЛАКОВОГО ГРАВИЯ

И. Р. Барна

В статье приведены результаты, полученные в ходе фильтрационной сушки сырьевых материалов производства шлакового гравия. Предложено обобщение в безразмерной форме полученных результатов. Показаны преимущества данного метода сушки.

**Ключевые слова:** сырьевые материалы производства шлакового гравия, фильтрационная сушка, гидродинамика, кинетика, тепло- и массообмен.

*Ірина Романовна Барна, аспірант кафедри хімічної інженерії Національного університету «Львівська політехніка», тел.: (067) 422-65-99, e-mail: barnairuna@ukr.net.*

#### ENERGY-SAVING AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY METHODS FOR DRYING RAW MATERIALS PRODUCTION OF SLAG GRAVEL

I. Barna

The article describes the results obtained during the filtration drying of raw materials production of slag gravel. A generalization of dimensional form of the results. The advantages of this method of drying.

**Keywords:** raw materials production of slag gravel, filtration drying, hydrodynamics, kinetics, heat and mass transfer.

*Iryna Barna, graduate student of Department of Chemical Engineering, National University «Lviv Polytechnic», tel.: (067) 422-65-99, e-mail: barnairuna@ukr.net.*